

【特許請求の範囲】

【請求項1】 発光層と、

前記発光層上に形成され、Alを含有する第1窒化物系半導体層を含む第1導電型のクラッド層と、
前記クラッド層上に形成され、Inを含有する第2窒化物系半導体層を含む第1導電型のコンタクト層と、
前記クラッド層および前記コンタクト層の電流通過領域以外の領域の少なくとも一部に、不純物元素を導入することにより形成された不純物導入層とを備えた、窒化物系半導体レーザ素子。

【請求項2】 前記不純物導入層は、前記電流通過領域よりも結晶欠陥が多い、請求項1に記載の窒化物系半導体レーザ素子。

【請求項3】 前記不純物導入層の上面と、前記電流通過領域の上面とは、実質的に同一面になるように形成されている、請求項1または2に記載の窒化物系半導体レーザ素子。

【請求項4】 前記不純物元素の不純物濃度は、前記クラッド層において極大になっている、請求項1～3のいずれか1項に記載の窒化物系半導体レーザ素子。

【請求項5】 前記不純物導入層は、前記クラッド層および前記コンタクト層の電流通過領域以外の領域の少なくとも一部に、不純物元素をイオン注入することにより形成されている、請求項1～4のいずれか1項に記載の窒化物系半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、窒化物系半導体レーザ素子に関し、特に、不純物導入層を有する窒化物系半導体レーザ素子に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、窒化物系半導体レーザ素子は、次世代の大容量光ディスク用光源としての利用が期待され、その開発が盛んに行われている。

【0003】窒化物系半導体レーザ素子は、p側領域から注入された電流を厳密に狭窄することにより、発光効率やしきい値などの発光特性を向上させることができる。そこで、従来、電流狭窄を行うための種々の構造が提案されている。たとえば、特開平11-214800号公報には、イオン注入法を用いて形成した高抵抗層により電流狭窄を行う構造が開示されている。

【0004】図26は、上記特開平11-214800号公報に開示された従来の窒化物系半導体レーザ素子の構造を示した断面図である。図26を参照して、従来の窒化物系半導体レーザ素子の構造について説明する。従来の窒化物系半導体レーザ素子では、サファイア基板101上に、GaNからなるバッファ層102が形成されている。このバッファ層102上には、n型GaNからなるn型コンタクト層103と、n型AlGaNからなるn型クラッド層104と、n型GaNからなるn型光

ガイド層(n型光導波層)105と、 $In_xGa_{1-x}N/In_yGa_{1-y}N$ からなるMQW(Multiple Quantum Well:多重量子井戸)活性層106と、p型GaNからなるp型光ガイド層(p型光導波層)107と、p型AlGaNからなるp型クラッド層108と、p型GaNからなるp型コンタクト層109とがこの順序で形成されている。

【0005】また、p型クラッド層108とp型コンタクト層109との一部の領域には、不純物元素(B;ホウ素)を、注入エネルギー:160keV、ドーズ量: $2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ の条件下で、イオン注入することにより形成された高抵抗層110が形成されている。この高抵抗層110により、p側の電流狭窄が行われる。

【0006】また、p型コンタクト層109および高抵抗層110の上面上には、p側電極112が形成されている。n型コンタクト層103の露出された上面上には、n側電極113が形成されている。

【0007】図26に示した従来の窒化物系半導体レーザ素子において、高抵抗層110とMQW活性層106との深さ方向の距離が離れている場合、MQW活性層106近傍での電流狭窄が不十分になるので、注入電流がMQW活性層106で横方向に広がってしまう。これにより、MQW活性層106の電流密度が低くなるので、しきい値電流が増大するという問題点が発生する。また、高抵抗層110とMQW活性層106との距離が近すぎる場合には、イオン注入による結晶欠陥がMQW活性層106に導入されやすいため、素子の寿命が短くなるという問題点が発生する。したがって、十分な素子特性を有する窒化物系半導体レーザ素子を得るには、高抵抗層110とMQW活性層106との深さ方向の距離を0.01 μm オーダーで厳密に制御する必要がある。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来では、高抵抗層110を形成する際のイオン注入時に、不純物イオンが深く注入されるチャネリング現象が発生するため、設計値よりも不純物イオンが深く注入されるという不都合があった。このため、高抵抗層110の深さを厳密に再現性よく制御することは困難であるので、高抵抗層110とMQW活性層106との深さ方向の距離を厳密に制御することは困難であった。その結果、MQW活性層106への電流注入の幅を厳密に制御するのが困難であるので、窒化物系半導体レーザ素子の製造歩留まりが低下するという問題点があった。

【0009】この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、この発明の1つの目的は、不純物元素が深く導入されるのを抑制することにより製造歩留まりを向上することが可能な窒化物系半導体レーザ素子を提供することである。

【0010】この発明のもう1つの目的は、上記した窒化物系半導体レーザ素子において、不純物イオンの注入

時のチャネリングを防止することである。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、この発明の一の局面による窒化物系半導体レーザ素子は、発光層と、発光層上に形成され、Alを含有する第1窒化物系半導体層を含む第1導電型のクラッド層と、クラッド層上に形成され、Inを含有する第2窒化物系半導体層を含む第1導電型のコンタクト層と、クラッド層およびコンタクト層の電流通過領域以外の領域の少なくとも一部に、不純物元素を導入することにより形成された不純物導入層とを備えている。

【0012】この一の局面による窒化物系半導体レーザ素子では、上記のように、Alを含有する第1窒化物系半導体層を含む第1導電型のクラッド層と、Inを含有する第2窒化物系半導体層を含む第1導電型のコンタクト層とを設けることによって、クラッド層とコンタクト層との基板に垂直な方向の格子定数が異なるので、たとえば、不純物元素をイオン注入により導入する場合に、チャネリングを防止することができる。これにより、不純物元素が深く導入されるのを抑制することができる。その結果、不純物導入層の深さを厳密に再現性よく制御することができるので、製造歩留まりを向上させることができる。

【0013】上記一の局面による窒化物系半導体レーザ素子において、好ましくは、不純物導入層は、電流通過領域よりも結晶欠陥が多い。このように構成すれば、不純物導入層を光吸収層として用いる場合に、光吸収層に多く含まれる結晶欠陥により光吸収を行うことができる。また、このように構成すれば、不純物導入層を電流阻止層として用いる場合に、含まれる結晶欠陥により電流阻止層を高抵抗とすることができる。

【0014】上記の窒化物系半導体レーザ素子において、好ましくは、不純物導入層の上面と、電流通過領域の上面とは、実質的に同一面になるように形成されている。このように構成すれば、容易に、素子表面の凹凸を低減することができる。これにより、発光層に近い素子の表面側から放熱基台にジャンクションダウン方式で取り付ける場合に、従来のリッジ構造に比べて凸部に加わる応力を低減することができるので、応力に起因して素子特性が劣化するのを抑制することができる。また、素子表面の凹凸の低減によって、放熱基台との接触面積を大きくすることができるので、良好な放熱特性を得ることができる。

【0015】上記の窒化物系半導体レーザ素子において、好ましくは、不純物元素の不純物濃度は、クラッド層において極大になっている。このように構成すれば、クラッド層の結晶欠陥が多くなるので、クラッド層の下に位置する発光層の結晶欠陥を低減することができる。これにより、素子の寿命を向上させることができる。また、クラッド層内に十分な密度で結晶欠陥を発生させる

ことができるので、たとえば、高抵抗の電流阻止層をクラッド層内に容易に形成することができる。これにより、発光層への電流注入の幅を容易に制御することができる。また、クラッド層内に十分な密度で結晶欠陥を発生させることができるので、たとえば、十分な光吸収効果を有する光吸収層をクラッド層内に形成することもできる。クラッド層内には、ある程度光がしみ出すため、光吸収層をクラッド層内に設けることにより、光の横方向閉じ込めの幅を制御することができる。

【0016】上記の窒化物系半導体レーザ素子において、好ましくは、不純物導入層は、クラッド層およびコンタクト層の電流通過領域以外の領域の少なくとも一部に、不純物元素をイオン注入することにより形成されている。このように構成すれば、イオン注入法は再現性がよいので、不純物導入層を再現性よく形成することができる。

【0017】なお、上記一の局面による窒化物系半導体レーザ素子において、コンタクト層は、InGa_Nから構成され、クラッド層は、AlGa_Nから構成されていてもよい。この場合、コンタクト層のIn組成は高い方が好ましい。このようにコンタクト層のIn組成を高くすれば、クラッド層との格子定数の差が大きくなるので、チャネリングをより抑制することができる。この場合、コンタクト層のバンドギャップは、レーザ光を吸収しない大きさを有するのが好ましい。このように構成すれば、コンタクト層によるレーザ光の吸収により、しきい値電流が高くなるのを防止することができる。

【0018】また、上記一の局面による窒化物系半導体レーザ素子において、結晶欠陥の密度は、クラッド層において極大になるようにしてもよい。このように構成すれば、クラッド層の結晶欠陥が多くなるので、クラッド層の下に位置する発光層の結晶欠陥を低減することができる。これにより、素子の寿命を向上させることができる。また、クラッド層内に十分な密度で結晶欠陥を発生させることができるので、たとえば、高抵抗の電流阻止層をクラッド層内に容易に形成することができる。これにより、発光層への電流注入の幅を容易に制御することができる。また、クラッド層内に十分な密度で結晶欠陥を発生させることができるので、たとえば、十分な光吸収効果を有する光吸収層をクラッド層内に形成することもできる。クラッド層内には、ある程度光がしみ出すため、光吸収層をクラッド層内に設けることにより、光の横方向閉じ込めの幅を制御することができる。

【0019】また、上記一の局面による窒化物系半導体レーザ素子において、不純物導入層は、イオン注入法により形成される電流阻止層であってもよい。このように構成すれば、イオン注入法は、導入深さの制御性がよいので、電流阻止層と、発光層との深さ方向の距離を厳密に再現性よく制御することができる。

【0020】また、上記一の局面による窒化物系半導体

10

20

30

40

50

レーザ素子において、不純物導入層は、イオン注入法により形成される光吸収層であってもよい。このように構成すれば、イオン注入法は、導入深さの制御性がよいので、光吸収層と、発光層との深さ方向の距離を厳密に再現性よく制御することができる。

【0021】また、上記一の局面による窒化物系半導体レーザ素子において、不純物元素は、炭素よりも質量数の多い不純物元素であってもよい。このように構成すれば、不純物元素のチャネリングを有効に防止することができるので、不純物元素が深く導入されるのを抑制することができる。その結果、深さ方向の注入プロファイルの制御性を向上させることができる。

【0022】また、上記一の局面による窒化物系半導体レーザ素子において、窒化物系半導体の【0001】方向から傾斜した方向からイオン注入するようにしてもよい。このように構成すれば、不純物元素のチャネリングをより防止することができるので、不純物元素が深く導入されるのを抑制することができる。その結果、深さ方向の注入プロファイルの制御性を向上させることができる。この場合、窒化物系半導体の表面は(0001)面であり、不純物導入層はストライプ状の幅を除いて形成され、その不純物導入層が形成されないストライプ方向と、窒化物系半導体の表面に対して垂直な方向とを含む面内において、窒化物系半導体の【0001】方向から傾斜した方向からイオン注入する。これにより、光吸収層をストライプ状の幅を除いて形成するためのマスクの下部に、イオンが非対称に導入されるのを防止しながら、不純物元素のチャネリングを防止することができる。

【0023】また、上記一の局面による窒化物系半導体レーザ素子において、不純物元素をスルー膜を介してイオン注入するようにしてもよい。このように構成すれば、不純物のチャネリングをより防止することができるので、不純物元素が深く導入されるのを抑制することができる。

【0024】また、上記一の局面による窒化物系半導体レーザ素子において、スルー膜は絶縁膜であってもよい。このように構成すれば、スルー膜に用いた絶縁膜を、光吸収層上あるいは電流阻止層上の絶縁膜として用いることができるので、電流阻止をより確実に行うことができる。

【0025】また、上記一の局面による窒化物系半導体レーザ素子において、電極層上に第1の膜を形成することによって、第1の膜からなるスルー膜と電極層とからなるマスク層を形成してもよい。このように構成すれば、マスク層となる電極層をコンタクト電極として利用することができるので、製造プロセスを簡略化することができる。

【0026】また、上記一の局面による窒化物系半導体レーザ素子において、ジャンクションダウン方式で組み

立ててもよい。本発明の構成では、素子領域の表面に凹凸が少ないので、ジャンクションダウン方式で組み立てることによって、素子領域に加わる応力を低減でき、その結果、素子特性の劣化を抑制することができる。また、ジャンクションダウン方式で組み立てる時にサブマウントなどと均一に融着することができるので、素子の放熱特性が良好となる。

【0027】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

【0028】(第1実施形態)図1は、本発明の第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造を示した断面図である。図2は、図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子のMQW発光層を示した拡大断面図である。

【0029】まず、図1および図2を参照して、第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造について説明する。この第1実施形態では、n型Ga_{0.99}N基板1上に、約1μmの厚みを有するGa_{0.99}Nからなるn型層2と、約1μmの厚みを有するAl_{0.01}Ga_{0.99}Nからなるn型クラッド層3と、MQW発光層4とがこの順で形成されている。MQW発光層4は、約3.5nmの厚みを有するIn_xGa_{1-x}Nからなる3層の量子井戸層4cと、約20nmの厚みを有するIn_yGa_{1-y}Nからなる4層の障壁層4bとが交互に積層されたMQW活性層を含む。本実施形態のMQW活性層では、X=0.15、Y=0.05に設定している。MQW活性層の下面上には、約0.1μmの厚みを有するAl_{0.01}Ga_{0.99}Nからなるn型光ガイド層4aが形成されている。また、MQW活性層の上面上には、約20nmの厚みを有するAl_{0.01}Ga_{0.99}Nからなるp型キャップ層4dと、約0.1μmの厚みを有するAl_{0.01}Ga_{0.99}Nからなるp型光ガイド層4eとがこの順序で形成されている。なお、MQW発光層4は、本発明の「発光層」の一例である。

【0030】MQW発光層4上には、約0.28μmの厚みのAl_{0.01}Ga_{0.99}Nからなるp型クラッド層5と、約0.067μmの厚みのIn_{0.01}Ga_{0.99}Nからなるp型中間層6と、約3nmの厚みのIn_{0.01}Ga_{0.99}Nからなるp型コンタクト層7とが形成されている。このように、第1実施形態では、p型中間層6のバンドギャップは、In組成を調整することにより、p型クラッド層5とp型コンタクト層7との中間のバンドギャップになるように設定されている。また、これにより、p型中間層6は、p型クラッド層5およびp型コンタクト層7と異なる格子定数となっている。

【0031】ここで、この第1実施形態では、炭素(C)がイオン注入されることにより形成された約0.32μmの注入深さを有する不純物注入層8が設けられている。なお、炭素は、本発明の「不純物元素」の一例であり、不純物注入層8は、本発明の「不純物導入層」

10

20

30

40

50

の一例である。この場合、イオン注入された炭素濃度のピーク深さは、p型コンタクト層7の上面から約0.23 μm のp型クラッド層5の領域に位置する。また、このピーク深さにおけるピーク濃度は、約 $1.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ である。この場合、不純物注入層8は、多量の不純物元素が半導体中に注入されることによって、他の領域よりも結晶欠陥を多く含んでいる。なお、電流通過領域9となるイオン注入されていない領域（非注入領域）は、約2.1 μm の幅で形成されている。

【0032】図3は、イオン注入領域の概略を示す拡大断面図である。なお、不純物注入層8は、イオン注入領域を示しており、マスク層10aは、イオン注入時のマスク層を示している。また、図3では、窒化物系半導体層の層構造は示していない。図3において、 R_p がピーク深さであり、ピーク深さの位置は、実線8aで示される。また、本発明の実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、 $R_p + \Delta R_p$ を注入深さ（不純物注入層8の厚み）と定義した。ここで、 ΔR_p は飛程の標準偏差である。また、イオン注入時のマスク層10aの下部に、イオン注入時に、イオンの横方向への広がり（ ΔR_1 ）が生じる。ここで、イオン注入時のマスク層10aの幅をWとすると、マスク層10aの下部のイオン注入されない領域8aの幅Bは、 $B = W - 2 \times \Delta R_1$ となる。なお、図3以外の断面図では、図を簡略化するために、イオンの横方向への広がりを図示していない。

【0033】また、第1実施形態における不純物注入層8は、不純物注入層8に多く含まれる結晶欠陥により光吸収層として機能するとともに、高抵抗を有するので電流狭窄層としても機能する。なお、不純物注入層8において、電流狭窄だけでなく光の横方向の閉じ込めも十分に行うには、イオン注入された炭素の不純物濃度の極大値が約 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることが好ましい。これにより、不純物注入層8は、電流通過領域9よりも結晶欠陥が多くなるので、この多く含まれる結晶欠陥により光吸収を行うことができる。

【0034】p型コンタクト層7の電流通過領域9の上面には、下層から上層に向かって、約1 nmの厚みを有するPt層と、約100 nmの厚みを有するPd層と、約240 nmの厚みを有するAu層と、約240 nmの厚みを有するNi層とからなるp側オーミック電極10が、約2.2 μm の電極幅でストライプ状（細長状）に形成されている。また、p側オーミック電極10の側面とp型コンタクト層7の上面とを覆うように、 SiO_2 からなる絶縁膜11が形成されている。絶縁膜11上には、p側オーミック電極10の上面に接触するように、下層から上層に向かって、約100 nmの厚みを有するTi層と、約150 nmの厚みを有するPt層と、約3 μm の厚みを有するAu層とからなるp側パッド電極12が形成されている。

【0035】また、n型GaN基板1の裏面上には、n

型GaN基板1の裏面に近い方から順に、約6 nmの厚みを有するAl層と、約2 nmの膜厚を有するSi層と、約10 nmの厚みを有するNi層と、約100 nmの厚みを有するAu層とからなるn側オーミック電極13が形成されている。n側オーミック電極13の裏面上には、n側オーミック電極13に近い方から順に、約10 nmの厚みを有するNi層と、約700 nmの厚みを有するAu層とからなるn側パッド電極14が形成されている。

【0036】第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、 $\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{N}$ からなるp型クラッド層5と、 $\text{In}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{N}$ からなるp型コンタクト層7との格子定数の差が大きいため、炭素のチャネリングを抑制することができる。これにより、炭素が素子内に深く注入されるのを抑制することができる。その結果、深さ方向の注入プロファイルの制御性を高くすることができる。これにより、横方向の光の閉じ込めを行う光吸収層としての機能を有する不純物注入層8の注入深さを厳密に再現性よく制御することができる。

【0037】また、第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、p型クラッド層5とp型コンタクト層7との間に、これらの格子定数と異なる格子定数からなるp型中間層6を形成することにより、イオン注入時のチャネリングをさらに防止することができる。

【0038】また、第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、p型クラッド層5とp型コンタクト層7とのバンドギャップの中間のバンドギャップからなるp型中間層6をp型クラッド層5とp型コンタクト層7との間に形成することにより、p型クラッド層5とp型コンタクト層7とのバンドギャップの不連続を緩和することができる。これにより、p型コンタクト層7からp型クラッド層5に流れる電流に対する抵抗を低減することができるので、電流が流れやすくなる。

【0039】また、第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、MQW発光層4上に形成されたp型クラッド層5およびp型コンタクト層7の電流通過領域9以外の領域に、炭素のイオン注入により形成された不純物注入層8を設けることによって、イオン注入法は、再現性がよいので、光吸収層として作用する不純物注入層8を再現性よく形成することができる。これにより、光の横方向の閉じ込めを再現性よく制御することができる。その結果、従来のリッジ部を有する窒化物系半導体レーザ素子に比べて、製造歩留まりを向上させることができる。

【0040】また、第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、イオン注入により形成された不純物注入層8を設けることによって、従来の

エッチングにより形成されたリッジ部を有する構造と異なり、不純物注入層8と、電流通過領域9との界面に、凹凸や高密度の結晶欠陥が発生しない。これにより、結晶欠陥に起因したリーク電流の発生を大幅に抑制することができる。

【0041】また、第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、p型クラッド層5において注入イオンがピークとなるので、p型クラッド層5内に十分な密度で結晶欠陥を発生させることができる。これにより、十分な光吸収効果を有する不純物注入層8をp型クラッド層5内に形成することができる。その結果、十分な横方向の光の閉じ込め効果を有する。また、不純物注入層8は、MQW発光層4から、0.03 μm の第1の距離だけ深さ方向に離れて形成されており、下部のMQW発光層4の結晶欠陥が少ないため、素子の寿命の低下を抑制することができる。

【0042】また、第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、イオン注入によって形成された不純物注入層8を設けることによって、従来の凸形状のリッジ部が不要となる。これにより、MQW発光層4に近い素子の表面側から放熱基台にジャンクションダウン方式で取り付ける場合に、凸形状のリッジ部に応力が加わることに起因して素子特性が劣化するという不都合が生じない。また、凸形状のリッジ部のために放熱基台との接触面積が小さくなることに起因して放熱特性が悪化するという不都合も生じない。

【0043】また、第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、不純物注入層8上に、絶縁膜11を形成するので、素子に大電流が注入された場合に、微少なリーク電流が発生するのを防止することができる。

【0044】また、第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ からなるp型中間層6を形成することにより、p型中間層6をGa₂Nにより形成する場合に比べて、p型中間層6と $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ からなるp型コンタクト層7との格子定数の差を小さくすることができる。これにより、p型コンタクト層7の歪みを低減することができるので、p型コンタクト層7の結晶性を向上することができる。その結果、p型コンタクト層7のキャリア濃度を増加することができるので、p型コンタクト層7とp側オーミック電極10とのコンタクト抵抗を低減することができる。

【0045】図4～図7は、図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。また、図8は、図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子における炭素濃度および結晶欠陥濃度プロファイルのシミュレーション結果を示したグラフである。図9は、図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子にお

る炭素濃度プロファイルのSIMSによる測定結果を示したグラフである。

【0046】次に、図1～図9を参照して、第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスについて説明する。

【0047】まず、図4に示すように、n型Ga₂N基板1上に、MOCVD法(Metal Organic Chemical Vapor Deposition: 有機金属気相堆積法)を用いて、約1 μm の厚みを有するGa₂Nからなるn型層2と、約1 μm の厚みを有する $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ からなるn型クラッド層3とを順次形成する。このn型クラッド層3上に、図2に示したように、約0.1 μm の厚みを有する $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ からなるn型光ガイド層4aと、約8 nmの厚みを有する $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ からなる3層の量子井戸層4cおよび約16 nmの厚みを有する $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ からなる4層の障壁層4bが積層されたMQW活性層と、約20 nmの厚みを有する $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ からなるp型キャップ層4dと、約0.1 μm の厚みを有する $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ からなるp型光ガイド層4eとからなるMQW発光層4を形成する。このMQW発光層4上に、約0.28 μm の厚みを有する $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ からなるp型クラッド層5と、約0.067 μm の厚みを有する $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ からなるp型中間層6と、約3 nmの厚みを有する $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ からなるp型コンタクト層7とを順次形成する。なお、n型ドーパントとして、Siを添加しており、p型ドーパントとして、Mgを添加している。

【0048】次に、図5に示すように、リフトオフ法を用いて、p型コンタクト層7の電流通過領域9となる領域の上面に、下層から上層に向かって、約1 nmの厚みを有するPt層と、約100 nmの厚みを有するPd層と、約240 nmの厚みを有するAu層と、約240 nmの厚みを有するNi層とからなるp側オーミック電極10を約2.2 μm の電極幅でストライプ状(細長状)に形成する。なお、p側オーミック電極10の電極幅は、約1 μm ～約6 μm の範囲であれば、電流通路を十分に確保することができるとともに、光の横方向の閉じ込めも良好に行うことができる。

【0049】すなわち、p側オーミック電極10の電極幅を約1 μm 以下とした場合は、p側オーミック電極10とp型コンタクト層7との接触面積が小さくなるので、コンタクト抵抗が増加する。また、後述するように、このp側オーミック電極10をマスクとしてイオン注入を行うと、横方向にも結晶欠陥が注入される。これにより、この領域が高抵抗となるため、実効的な電流通過領域9の幅が小さくなり、そのため、電流密度が過大となる。その結果、温度上昇が大きくなるので、動作電流の増大や、素子寿命の低下などの原因となる。さらに極端な場合には、実効的な電流通路を確保することがで

きなくなり、その結果、素子への電流注入ができなくなるおそれがある。一方、p側オーミック電極10の電極幅を $6\mu\text{m}$ より大きくすると、電流通過領域9の幅が過大となるため、電流密度が過小となる。その結果、しきい値電流が大幅に増大するおそれがある。さらに、不純物注入層8がMQW発光層4の発光部分から離れすぎるため、横方向の光の閉じ込めが不十分になるおそれがある。したがって、p側オーミック電極10の電極幅は、約 $1\mu\text{m}$ ～約 $6\mu\text{m}$ の範囲にするのが好ましい。

【0050】次に、プラズマCVD法を用いて、p側オーミック電極10およびp型コンタクト層7の上面の全面を覆うように、約 60nm の厚みを有する SiO_2 からなるスルー膜15を形成する。

【0051】次に、図6に示すように、p側オーミック電極10をマスクとして、スルー膜15を介して、p型コンタクト層7、p型中間層6およびp型クラッド層5の所定の領域に炭素を多量にイオン注入することにより、p型コンタクト層7の上面から、約 $0.32\mu\text{m}$ の注入深さを有する不純物注入層8を形成する。これにより、約 $2.1\mu\text{m}$ の電流通過幅を有する電流通過領域9が形成される。なお、第1実施形態のイオン注入条件は、イオン注入エネルギーが約 95keV 、ドーズ量が約 $2.3 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$ で行った。なお、イオン注入の方向は、p型コンタクト層7の表面に対して垂直な方向（p型コンタクト層7の[0001]方向）から、p側オーミック電極10のストライプ方向に約 7° 傾斜させた方向から行った。

【0052】なお、この第1実施形態のイオン注入条件（注入エネルギー：約 95keV 、ドーズ量：約 $2.3 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$ ）でイオン注入を行った場合の素子の深さ方向の炭素濃度プロファイル、および、イオン注入により結晶中に生じる結晶欠陥濃度プロファイルのシミュレーション結果は、図8に示すようになる。なお、このシミュレーションは、株式会社IBMの技術者により一般に提供されているTRIMと呼ばれるシミュレーションソフトを用いて行った。図8を参照して、第1実施形態のイオン注入条件によるシミュレーション結果では、炭素濃度のピーク深さ R_p は、約 $0.23\mu\text{m}$ となるとともに、このピーク深さ R_p における炭素濃度は、約 $1.0 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ となる。また、このグラフの標準偏差 ΔR_p は、約 $0.1\mu\text{m}$ となる。

【0053】また、TRIMを用いたシミュレーションにより、炭素および結晶欠陥のイオン注入方向に対して垂直な方向（横方向）への広がり分布をシミュレートしたところ、図3に模式的に示すように、約 $0.12\mu\text{m}$ 程度の横方向への広がり（ ΔR_1 ）が生じることがわかった。これにより、第1実施形態では、不純物注入層8の幅により規定される電流通過領域9の幅は、イオン注入時のマスク層の幅から、注入イオンの横方向へ注入広がり（ ΔR_1 ）を考慮した値としている。なお、第1実施形態によ

る窒化物系半導体レーザ素子では、p側オーミック電極10の幅（約 $2.2\mu\text{m}$ ）と、p側オーミック電極10の側面に形成されたスルー膜15の膜厚（左右で計約 $0.1\mu\text{m}$ ）との合計値（約 $2.3\mu\text{m}$ ）がイオン注入時のマスク層の幅 W となる。このマスク層の幅から、横方向への注入広がり（ ΔR_1 ）の2倍である約 $0.2\mu\text{m}$ を引くことにより、マスク層の下部のイオンが注入されない領域の幅 B である電流通過領域9の幅（約 $2.1\mu\text{m}$ ）が得られる。

【0054】また、図8を参照して、シミュレーションでは、結晶欠陥の濃度分布は、炭素の濃度分布よりも、ピーク深さが浅くなることがわかった。この第1実施形態では、炭素濃度、結晶欠陥濃度ともにp型クラッド層5にピークを有するように設計している。

【0055】また、第1実施形態のイオン注入条件による素子のSIMS (Secondary Ion Mass Spectroscopy) 分析による炭素濃度分布の測定結果は、図9に示すようになった。なお、SIMS分析による測定条件は、1次イオンとして Cs^+ イオンを用いるとともに、1次イオン加速電圧を 15kV 、1次イオン電流を 25mA とした。この測定条件で、試料の $120 \times 120\mu\text{m}^2$ の領域において、1次イオンをラスタースキャンすることにより、1次イオンを照射した。このときに、試料上の直径 $60\mu\text{m}$ の領域から出てくるC-イオン（2次イオン）を検出することによって、深さ方向の炭素濃度分布を測定した。なお、図9中の、注入深さ約 $0.6\mu\text{m}$ 以上のところでは、炭素濃度が一定（約 $2 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ）となっているが、これは、イオン注入により注入されたものではなく、結晶成長により形成した窒化物系半導体層にもともと存在していた炭素濃度である。図9中の破線で示した低濃度領域の濃度プロファイルは、これを考慮して、窒化物系半導体層に元々含まれる炭素濃度（約 $2 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ）を除いたものである。

【0056】図9を参照して、SIMS分析による実際の炭素濃度測定においても、上記したシミュレーション結果と同様、炭素濃度分布のピークはp型クラッド層5中にあることがわかった。このSIMS分析による測定結果での炭素濃度のピーク深さは、p型コンタクト層7の上面から約 $0.15\mu\text{m}$ の深さとなった。

【0057】上記のように、TRIMによるシミュレーション結果では、炭素濃度分布のピーク深さ R_p は、p型コンタクト層7の上面から約 $0.23\mu\text{m}$ の深さになったのに対し、SIMS分析による炭素濃度のピーク深さは、p型コンタクト層7の上面から約 $0.15\mu\text{m}$ の深さとなった。このように、第1実施形態の条件により炭素をイオン注入した場合、TRIMによる炭素濃度のピーク深さの試算値と、SIMS分析によるピーク深さの測定値との間に約 $0.08\mu\text{m}$ のずれが生じる。なお、このずれの大きさは、注入元素の種類や注入条件に

よって変化する。たとえば、注入エネルギー：110 keV、ドーズ量： $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ の条件で、シリコンのイオン注入を行った場合、TRIMによるピーク深さの試算値は、約0.15 μm となり、SIMSによるピーク深さの測定値は、約0.10 μm となる。このように、TRIMによる注入イオン濃度のピーク深さの試算値と、SIMSによる注入イオン濃度のピーク深さの測定値とは、必ずしも完全に一致するわけではない。その一方、イオン注入法による注入イオン濃度プロファイルは、注入条件さえ定めれば、非常に高い再現性を得ることができる。これにより、同様の注入イオン濃度プロファイル

10

を有する複数の素子を容易に得ることが可能であることが知られている。なお、本発明による各実施形態では、原則として、上記したTRIMによる試算値を用いて記述する。

【0058】上記のように、イオン注入により不純物注入層8を形成した後、フッ酸系エッチャントによるウェットエッチングを用いて、スルー膜15を除去する。その後、図7に示すように、プラズマCVD法を用いて、p型コンタクト層7およびp側オーミック電極10の上面の全面を覆うように、約200 nmの厚みを有するSiO₂からなる絶縁膜11を形成する。そして、フォトリソグラフィ技術を用いることにより、p側オーミック電極10の上面に開口部を有するレジスト膜（図示せず）を形成する。このレジスト膜をマスクとして、CF₄ガスを

20

を用いたRIE（Reactive Ion Etching）法によって、p側オーミック電極10の上面上に位置する絶縁膜11を除去する。これにより、p側オーミック電極10の上面を露出させる。

【0059】最後に、図1に示したように、絶縁膜11の上面上に、p側オーミック電極10の露出された上面に接触するように、下層から上層に向かって、約100 nmの厚みを有するTi層と、約150 nmの厚みを有するPt層と、約3 μm の厚みを有するAu層とからなるp側パッド電極12を真空蒸着する。そして、n型GaN基板1の裏面を所定の膜厚（たとえば100 μm ）に研磨した後、n型GaN基板1の裏面上に、n型GaN基板1の裏面に近い側から、約6 nmの厚みを有するAl層と、約2 nmの厚みを有するSi層と、約10 nmの厚みを有するNi層と、約100 nmの厚みを有するAu層とからなるn側オーミック電極13を形成する。さらに、n側オーミック電極13の裏面上に、n側オーミック電極13に近い側から約10 nmの厚みを有するNi層と、約700 nmの厚みを有するAu層とからなるn側パッド電極14を形成することによって、第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子が完成される。

30

40

【0060】第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスでは、上記したように、p型コンタクト層7の【0001】方向から約7°傾斜した方向か

50

ら炭素を注入することにより、炭素のチャネリングを抑制することができるので、炭素が素子内に深く注入されるのを抑制することができる。その結果、深さ方向の注入プロファイルの制御性が高まる。特に、p側オーミック電極10のストライプ方向に傾斜した方向からイオン注入することによって、p側オーミック電極10の下方の電流通過領域9にイオンが注入されるのを防止することができる。

【0061】また、第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスでは、上記したように、イオン注入前に素子の上面をスルー膜15で覆うことによって、より効果的に、炭素のチャネリングを防止することができる。これにより、炭素が素子内に深く注入されるのをより抑制することができるので、深さ方向の注入プロファイルの制御性がより高まる。

【0062】また、第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスでは、上記したように、イオン注入のマスクとして用いたp側オーミック電極10をコンタクト電極として用いることができるので、製造工程を簡略化することができる。

【0063】（第2実施形態）図10は、本発明の第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造を示した断面図である。この第2実施形態では、上記第1実施形態と異なり、2回のイオン注入により、電流狭窄層と光吸収層とをそれぞれ形成するとともに、Al_{0.95}Ga_{0.05}Nからなるp型中間層を形成した場合の例について説明する。第2実施形態のその他の構成は、第1実施形態と同様である。

【0064】まず、図10を参照して、この第2実施形態では、n型GaN基板1上に、n型層2と、n型クラッド層3と、MQW発光層4とが形成されている。なお、各層1～4の膜厚および組成は、第1実施形態と同様である。

【0065】MQW発光層4上には、約0.28 μm の厚みを有するAl_{0.95}Ga_{0.05}Nからなるp型クラッド層5と、約0.067 μm の厚みのAl_{0.95}Ga_{0.05}Nからなるp型中間層16と、約3 nmの厚みのIn_{0.05}Ga_{0.95}Nからなるp型コンタクト層17とがこの順序で形成されている。このように、第2実施形態では、p型中間層16のバンドギャップは、Al組成を調整することにより、p型クラッド層5とp型コンタクト層17との中間のバンドギャップになるように設定されている。また、これにより、p型中間層16は、p型クラッド層5およびp型コンタクト層17と異なる格子定数となっている。

【0066】ここで、第2実施形態では、p型クラッド層5からp型コンタクト層17までの一部の領域に、ホウ素をイオン注入することにより、約0.34 μm の注入深さを有する第1不純物注入層18aが形成されている。なお、ホウ素は、本発明の「不純物元素」の一例で

あり、第1不純物注入層18aは、本発明の「不純物導入層」の一例である。この第1不純物注入層18aのホウ素濃度のピーク深さは、p型コンタクト層17の上面から、約0.25 μ mの深さのp型クラッド層5の領域に位置する。このピーク深さにおけるホウ素濃度は、約 1.0×10^{19} cm⁻³となる。この第1不純物注入層18aにより、p側からの注入電流に対する電流狭窄が行われることにより、電流通過領域19が形成されている。なお、電流通過領域19は、約1.8 μ mの幅で形成されている。

【0067】さらに、第2実施形態では、炭素をイオン注入することにより、第1不純物注入層18aよりも、MQW発光層4および電流通過領域19から離れた領域に、約0.32 μ mの注入深さを有する第2不純物注入層18bが形成されている。この第2不純物注入層18bの炭素濃度のピーク深さは、p型コンタクト層17の上面から、約0.23 μ mの深さのp型クラッド層5内にある。このピーク深さにおける炭素濃度は、約 1.0×10^{20} cm⁻³となる。これにより、電流狭窄を第1不純物注入層18aで行うとともに、横方向の光閉じ込めを第2不純物注入層18bで行うことができる。ここで、第2不純物注入層18bは、第1の幅（幅約2.8 μ m）を除いて形成されている。なお、第2不純物注入層18bの形成時にイオン注入される炭素は、本発明の「不純物元素」の一例であり、第2不純物注入層18bは、本発明の「不純物導入層」の一例である。

【0068】p型コンタクト層17の電流通過領域19の上面上には、p側オーミック電極20がストライプ状に形成されている。また、p側オーミック電極20の側面とp型コンタクト層17の上面とを覆うように、絶縁膜21が形成されている。この絶縁膜21上には、p側オーミック電極20の上面に接触するように、p側パッド電極22が形成されている。また、n型Ga_{0.95}N基板1の裏面上には、n型Ga_{0.95}N基板1の裏面に近い方から順に、n側オーミック電極13およびn側パッド電極13が形成されている。なお、各層20～22の膜厚および組成は、第1実施形態の各層10～12とそれぞれ同様である。

【0069】第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、Al_{0.98}Ga_{0.02}Nからなるp型クラッド層5と、In_{0.95}Ga_{0.05}Nからなるp型コンタクト層17との格子定数の差が大きいため、ホウ素および炭素のチャネリングを抑制することができる。これにより、ホウ素および炭素が素子内に深く注入されるのを抑制することができる。その結果、深さ方向の注入プロファイルの制御性を高くすることができる。したがって、発光領域近傍の電流狭窄層としての機能を有する第1不純物注入層18aの注入深さを厳密に再現性よく制御することができる。

【0070】また、第2実施形態による窒化物系半導体

レーザ素子では、上記したように、p型クラッド層5とp型コンタクト層17との間に、これらの格子定数と異なる格子定数からなるp型中間層16を形成することにより、イオン注入時のチャネリングをさらに防止することができる。

【0071】第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、第1の幅を除いて第2不純物注入層18bが形成されるとともに、電流通過領域19の幅（第2の幅）を除いて第1不純物注入層18aが形成され、第1の幅は第2の幅よりも大きく、かつ、第2の幅の領域は、第1の幅の領域内に形成されている。これにより、電流狭窄を強めると同時に、光吸収層による光吸収を低減することができるので、しきい値電流の低減や、スロープ効率の向上を図ることができる。

【0072】また、第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、MQW発光層4から0.03 μ mの第1の距離だけ深さ方向に離れて第2不純物注入層18bが形成されるとともに、MQW発光層4から0.01 μ mの第2の距離だけ深さ方向に離れて第1不純物注入層18aが形成されているので、第1の距離が第2の距離よりも大きくなっている。これにより、電流狭窄を強めると同時に、光吸収層による光吸収を低減できるので、しきい値電流の低減や、スロープ効率の向上を図ることができる。

【0073】また、第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、イオン注入の注入条件を2種類とするとともに、それぞれの注入領域を変化させることによって、光吸収層として作用する第2不純物注入層18bの形状と電流狭窄層として作用する第1不純物注入層18aの形状とを容易に別々に制御することができる。具体的には、たとえば、電流通過領域19の幅を狭い幅で一定に保ったまま、第2不純物注入層18bの間隔を独立に変更することができる。これにより、しきい値電流を大幅に変化させずに、横方向の光閉じ込めの度合いを変更することができるので、レーザ光の水平方向の広がり角の制御が可能となる。

【0074】また、第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、1度目にホウ素をイオン注入し、2度目に炭素をイオン注入することによって、1度目と2度目とで注入する不純物元素が異なるので、それぞれ注入された不純物元素の濃度プロファイルを容易に変化させることができる。

【0075】また、第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、ホウ素のような比較的軽い元素をイオン注入することによって、第1不純物注入層18aに結晶欠陥が過度に形成されることを防止することができる。

【0076】また、第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、炭素のような比較的重い元素をイオン注入することによって、第2不純物注

10

20

30

40

50

入層18bに低いドーズ量で結晶欠陥を注入することができる。これにより、第2不純物注入層18bに注入された炭素が、MQW発光層4に拡散することによって、素子の特性に悪影響を及ぼすことを抑制することができる。

【0077】また、第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、 $Al_{0.01}Ga_{0.99}N$ からなるp型中間層16を形成することにより、 $In_{0.05}Ga_{0.95}N$ からなるp型コンタクト層17と $Al_{0.08}Ga_{0.92}N$ からなるp型クラッド層5とのバンドギャップの不連続を緩和することができる。特に、 $Al_{0.01}Ga_{0.99}N$ からなるp型中間層16は、 GaN からなるp型中間層に比べて、p型クラッド層5とのバンドギャップ差が小さくなるので、p型中間層16からp型クラッド層5に流れる電流（正孔）に対する抵抗を低減することができる。これにより、p型コンタクト層17からp型クラッド層5に流れる電流（正孔）に対する抵抗を低減することができる。

【0078】第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子のその他の効果は、第1実施形態と同様である。

【0079】図11～図14は、図10に示した第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。この第2実施形態では、電流狭窄層と光吸収層とをそれぞれ別々のイオン注入により形成する場合の製造プロセスについて説明する。

【0080】まず、図4に示した第1実施形態と同様のプロセスを用いて、p型クラッド層5までを形成する。そして、図11に示すように、p型クラッド層5上に、約 $0.067\mu m$ の厚みの $Al_{0.01}Ga_{0.99}N$ からなるp型中間層16と、約 $3nm$ の厚みの $In_{0.05}Ga_{0.95}N$ からなるp型コンタクト層17とを形成する。次に、リフトオフ法を用いて、p型コンタクト層17の上面上に、p側オーミック電極20を約 $2.0\mu m$ の電極幅でストライプ状に形成する。そして、このp側オーミック電極20およびp型コンタクト層17の上面の全面を覆うように、プラズマCVD法を用いて、約 $500nm$ の厚みを有する SiO_2 膜23aを形成する。

【0081】次に、図12に示すように、 CF_4 ガスを用いたRIE法により、 SiO_2 膜23aを異方性エッチングすることにより、p側オーミック電極20の側壁部分に、約 $500nm$ の幅を有する SiO_2 からなる非注入領域拡大膜23が形成される。そして、第2実施形態では、p側オーミック電極20および非注入領域拡大膜23をマスク（マスクの幅約 $3\mu m$ ）として、イオン注入を行う。すなわち、イオン注入エネルギーが約 $80keV$ 、ドーズ量が約 $2.3 \times 10^{15} cm^{-2}$ の条件で、炭素をイオン注入した。これにより、第2不純物注入層18bを形成する。この後、非注入領域拡大膜23を完全に除去する。

【0082】次に、図13に示すように、p側オーミック電極20をマスクとして、注入エネルギーが約 $70keV$ 、ドーズ量が約 $2.3 \times 10^{14} cm^{-2}$ のイオン注入条件で、ホウ素のイオン注入を行う。これにより、第1不純物注入層18aを形成する。

【0083】次に、図14に示すように、プラズマCVD法を用いて、p側オーミック電極20の側面とp型コンタクト層17の上面とを覆うように、約 $200nm$ の厚みを有する SiO_2 からなる絶縁膜21を形成する。そして、フォトリソグラフィ技術および CF_4 ガスによるRIE法を用いて、p側オーミック電極20の上面を露出させる。

【0084】最後に、p側オーミック電極20および絶縁膜21上に、p側パッド電極22を形成するとともに、n型 GaN 基板1の所定の膜厚に研磨された後の裏面に、n型 GaN 基板1の裏面に近い方から順に、n側オーミック電極13およびn側パッド電極14を形成することによって、図10に示した第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子が完成される。

【0085】（第3実施形態）図15は、本発明の第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造を示した断面図である。この第3実施形態では、段差部を有する凸状のp側オーミック電極をマスクとして、イオン注入を行うことにより、段差状の不純物注入層を形成する場合の例について説明する。

【0086】まず、図15を参照して、この第3実施形態では、n型 GaN 基板1上に、n型層2と、n型クラッド層3と、MQW発光層4とが形成されている。なお、各層1～4の膜厚および組成は、第1実施形態と同様である。

【0087】MQW発光層4上には、約 $0.28\mu m$ の厚みの $Al_{0.08}Ga_{0.92}N$ からなるp型クラッド層5と、約 $0.07\mu m$ の厚みの $In_{0.05}Ga_{0.95}N$ からなるp型コンタクト層26とが形成されている。このように、第3実施形態では、p型コンタクト層26の格子定数は、 In 組成を調整することにより、p型クラッド層5と大きく異なる格子定数になるように設定されている。

【0088】ここで、第3実施形態では、シリコン（ Si ）がイオン注入されることにより形成された段差状の不純物注入層27が設けられている。なお、シリコンは、本発明の「不純物元素」の一例である。また、不純物注入層27は、本発明の「不純物導入層」の一例である。なお、電流通過領域28となるイオン注入されていない領域は、p型コンタクト層26の上面から約 $0.33\mu m$ の注入深さまでの範囲で、約 $1.4\mu m$ の幅を有するとともに、そこからさらに約 $0.77\mu m$ の注入深さまでの範囲で、約 $1.8\mu m$ の幅を有する段差状に形成されている。なお、不純物注入層27のp型コンタクト層26の上面から約 $0.33\mu m$ の注入深さまでの範

囲の間隔が狭い領域により、電流狭窄が行われる。この領域におけるシリコン濃度のピーク深さは、p型コンタクト層26の上面から、約0.14 μm の深さのp型クラッド層5の領域に位置する。このピーク深さにおけるシリコン濃度は、約 $1.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ となる。また、不純物注入層27のp型コンタクト層26の上面から約0.33 μm の注入深さから約0.77 μm の注入深さまでの範囲の間隔が広い領域により、光の横方向の閉じ込めが行われる。この領域のシリコン濃度のピーク深さは、p型コンタクト層26の上面から、約0.59 μm の深さのMQW発光層4の領域に位置する。このピーク深さにおけるシリコン濃度は、約 $1.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ となる。

【0089】p型コンタクト層26の電流通過領域28の上面上には、約140 nmの厚みを有する電極幅が約2.2 μm のPt電極29aと、約600 nm厚みを有する電極幅が約1.8 μm のNi電極29bとからなる段差部を有する凸状のp側オーミック電極29がストライプ状に形成されている。また、p側オーミック電極29の側面とp型コンタクト層26の上面とを覆うように、絶縁膜30が形成されている。この絶縁膜30上には、p側オーミック電極29の上面に接触するように、p側パッド電極31が形成されている。また、n型GaN基板1の裏面上に、n型GaN基板1の裏面に近い方から順に、n側オーミック電極13およびn側パッド電極14が形成されている。

【0090】第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ からなるp型クラッド層5と、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ からなるp型コンタクト層26との格子定数の差が大きいので、シリコンのチャネリングを抑制することができる。これにより、シリコンが素子内に深く注入されるのを抑制することができる。その結果、深さ方向の注入プロファイルの制御性を高くすることができる。これにより、不純物注入層27のうちの電流狭窄層として機能する領域の下面27aの位置を厳密に再現性よく制御することができるので、その電流狭窄層として機能する領域の下面27aと、MQW発光層4の上面との距離を厳密に再現性よく制御することができる。

【0091】また、第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、電流狭窄層およびイオン注入光吸収層として機能する不純物注入層27を段差状に形成することによって、不純物注入層27の間隔の狭い領域で十分な電流狭窄を行うとともに、MQW発光層4の発光部に近い不純物注入層27の間隔の広い領域で適度な光の横方向の閉じ込めを行うことができる。これにより電流密度を増加できるとともに、過度な光吸収を抑制することができる。その結果、しきい値電流の低減やレーザ光の水平広がり角の制御が可能となる。

【0092】第3実施形態による窒化物系半導体レーザ

素子のその他の効果は、第1実施形態と同様である。

【0093】図16～図20は、図15に示した第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。第3実施形態では、段差部を有する凸状のマスク層を用いることにより、一度のイオン注入で、電流狭窄機能を有する段差状の不純物注入層を形成する場合の例について説明する。第3実施形態のその他の構成は、第1実施形態と同様である。

【0094】まず、図4に示した第1実施形態と同様のプロセスを用いて、p型クラッド層5までを形成する。そして、図16に示すように、p型クラッド層5上に、約3 nmの厚みを有する $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ からなるp型コンタクト層26を形成する。次に、リフトオフ法を用いて、p型コンタクト層26の上面上に、約140 nmの厚みを有するPt電極29aと、約600 nmの厚みを有するNi電極29bとからなるp側オーミック電極29を電極幅を約2.2 μm でストライプ状に形成する。

【0095】そして、図17に示すように、ウェットエッチングにより、p側オーミック電極29の上部のNi電極29bのみ等方的にエッチングすることによって、Ni電極29bの電極幅のみを約1.8 μm とする。これにより、段差部を含む凸状のp側オーミック電極29を形成する。この後、プラズマCVD法により、p側オーミック電極29およびp型コンタクト層26の上面の全面を覆うように、約10 nmの厚みを有するとともに、 SiO_2 からなるスルー膜32を形成する。

【0096】ここで、第3実施形態では、図18に示すように、段差部を有する凸状のp側オーミック電極29をマスクとして、スルー膜32を介して、シリコンのイオン注入を行うことによって、段差状の不純物注入層27を形成する。なお、第3実施形態では、イオン注入エネルギーが約400 keV、ドーズ量が約 $4.5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ のイオン注入条件で、シリコンのイオン注入を行う。これにより、段差状の不純物注入層27を一度のイオン注入で形成する。この場合、不純物注入層27の間隔の狭い領域に注入されるシリコン濃度のピーク深さは、p型コンタクト層26の上面から約0.14 μm の深さのp型クラッド層5の領域である。このピーク深さにおけるシリコン濃度は、約 $1.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ である。また、不純物注入層27の間隔の広い領域に注入されるシリコン濃度のピーク深さは、p型コンタクト層26の上面から約0.59 μm の深さのMQW発光層4の領域である。このピーク深さにおけるシリコン濃度は、約 $1.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ である。この後、ウェットエッチングによって、スルー膜32を除去する。

【0097】次に、図19に示すように、プラズマCVD法を用いて、p側オーミック電極29およびp型コンタクト層26の上面の全面を覆うように、約200 nmの厚みを有するとともに、 SiO_2 からなる絶縁膜30

を形成する。そして、第 1 実施形態と同様、フォトリソグラフィ技術および C F₄ ガスによる R I E 法を用いて、p 側オーミック電極 29 の上面を露出する。

【0098】最後に、図 20 に示すように、第 1 実施形態と同様のプロセスを用いて、絶縁膜 30 の上面上に、p 側オーミック電極 29 の上面に接触するように、p 側パッド電極 31 を形成する。そして、n 型 G a N 基板 1 を所定の膜厚に研磨した後、その n 型 G a N 基板 1 の裏面に、n 側オーミック電極 13 および n 側パッド電極 14 を形成することによって、図 15 に示した第 3 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子が完成される。

【0099】第 3 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスでは、上記したように、段差部を有する凸状の p 側オーミック電極 29 からなるマスクを用いてイオン注入を行うことによって、注入深さの異なる領域からなる段差状の不純物注入層 27 を一度のイオン注入により形成することができる。これにより、一度のイオン注入により、電流通過領域 28 の幅と、光吸収量とを個別に制御することが可能な不純物注入層 27 を形成することができる。このため、電流狭窄とレーザ光の横方向の光の閉じ込めとを適切に設定することができるので、電流密度を増加できるとともに、過度な光吸収を抑制することができる。これにより、しきい値電流の低減やレーザ光の水平方向の広がり角の制御が可能となる。

【0100】（第 4 実施形態）図 21 は、本発明の第 4 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造を示した断面図である。この第 4 実施形態では、複数のイオン注入を行うとともに、それぞれのイオン注入を異なる角度から行うことにより、イオン注入光吸収層および電流狭窄層を形成するとともに、A l_{0.98}G a_{0.02}N からなる p 型中間層を形成する場合について説明する。なお、p 型中間層の組成は Z を変化させることにより連続的に変化させている。第 4 実施形態のその他の構成は、第 1 実施形態と同様である。

【0101】まず、図 21 を参照して、この第 4 実施形態では、n 型 G a N 基板 1 上に、n 型層 2 と、n 型クラッド層 3 と、MQW 発光層 4 とが形成されている。なお、各層 1 ~ 4 の膜厚および組成は、第 1 実施形態と同様である。

【0102】MQW 発光層 4 上には、約 0.28 μm の厚みの A l_{0.98}G a_{0.02}N からなる p 型クラッド層 5 と、約 0.067 μm の厚みの A l_{0.98}G a_{0.02}N からなる p 型中間層 36 と、約 3 nm の厚みの I n_{0.98}G a_{0.02}N からなる p 型コンタクト層 37 とがこの順序で形成されている。なお、第 4 実施形態では、p 型中間層 36 の組成は、p 型クラッド層 5 から p 型コンタクト層 37 に向かって、Z = 0.08 から Z = 0 へと連続的に変化させている。これにより、p 型中間層 36 は、格子定数が連続的に変化されるとともに、p 型クラッド層 5 と p 型

コンタクト層 37 との中間のバンドギャップを有している。

【0103】ここで、この第 4 実施形態では、p 型クラッド層 5 および p 型コンタクト層 37 の一部の領域に、リン (P) がイオン注入されることにより形成された約 0.32 μm の注入深さの光吸収層としての機能を有する第 2 不純物注入層 38a が、約 2.8 μm の第 1 の幅を除いて設けられている。なお、リンは、本発明の「不純物元素」の一例であり、第 2 不純物注入層 38a は、本発明の「不純物導入層」の一例である。この場合、イオン注入されたリン濃度のピーク深さは、p 型コンタクト層 37 の上面から約 0.22 μm の深さの p 型クラッド層 5 の領域に位置する。このピーク深さにおけるリン濃度は、約 $1.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0104】また、第 2 不純物注入層 38a の内側には、p 型クラッド層 5、p 型中間層 36 および p 型コンタクト層 37 の一部の領域に、炭素がイオン注入されることにより形成された約 0.28 μm の注入深さの電流狭窄層として機能する第 1 不純物注入層 38b が設けられている。なお、炭素は、本発明の「不純物元素」の一例であり、第 1 不純物導入層 38b は、本発明の「不純物導入層」の一例である。この場合、イオン注入された炭素濃度のピーク深さは、p 型コンタクト層 37 の上面から約 0.2 μm の深さの p 型クラッド層 5 の領域に位置する。このピーク深さにおける炭素濃度は、約 $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。この第 1 不純物注入層 38b によって、p 側からの注入電流に対する電流狭窄が行われることにより、幅が、約 2.5 μm ~ 約 2.0 μm の範囲で傾斜状に変化する逆台形状の電流通過領域 39 が形成されている。

【0105】また、p 型コンタクト層 37 の電流通過領域 39 の上面上には、第 1 実施形態と同様、p 側オーミック電極 40 が、約 2.9 μm の電極幅でストライプ状に形成されている。また、p 側オーミック電極 40 の側面と p 型コンタクト層 37 とを覆うように、絶縁膜 41 が形成されている。絶縁膜 41 上には、p 側オーミック電極 40 の上面に接触するように、p 側パッド電極 42 が形成されている。また、n 型 G a N 基板 1 の裏面には、n 型 G a N 基板 1 の裏面に近い方から順に、n 側オーミック電極 13 および n 側パッド電極 14 が形成されている。なお、各層 40 ~ 42 の膜厚および組成は、第 1 実施形態の各層 10 ~ 12 とそれぞれ同様である。

【0106】第 4 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、A l_{0.98}G a_{0.02}N からなる p 型クラッド層 5 と、I n_{0.98}G a_{0.02}N からなる p 型コンタクト層 37 との格子定数の差が大きいため、リンおよび炭素のチャネリングを抑制することができる。これにより、リンおよび炭素が素子内に深く注入されるのを抑制することができる。その結果、深さ方向の注入プロファイルの制御性を高くすることができる。これに

より、発光領域近傍の電流狭窄層としての機能を有する第1不純物注入層38bにおける、不純物元素の注入深さを厳密に再現性よく制御することができる。

【0107】また、第4実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、p型クラッド層5とp型コンタクト層37との間に、これらの格子定数と異なる格子定数からなるp型中間層36を形成することにより、イオン注入時のチャネリングをより防止することができる。また、p型中間層36は、格子定数が連続的に変化する層から構成されているので、イオン注入時のチャネリングを防止する効果をさらに大きくすることができる。

【0108】また、第4実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、上記したように、p型クラッド層5とp型コンタクト層37とのバンドギャップの中間のバンドギャップからなるp型中間層36をp型クラッド層5とp型コンタクト層37との間に形成することにより、p型クラッド層5とp型コンタクト層37とのバンドギャップの不連続を緩和することができる。これにより、p型コンタクト層37からp型クラッド層5に流れる電流に対する抵抗を低減することができるので、電流が流れやすくなる。

【0109】第4実施形態による窒化物系半導体レーザ素子のその他の効果は、第1実施形態と同様である。

【0110】図22～図25は、図21に示した第4実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。次に、図21～図25を参照して、第4実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスについて説明する。

【0111】まず、図4に示した第1実施形態と同様のプロセスを用いて、p型クラッド層5までを形成する。次に、図22に示すように、p型クラッド層5上に、約0.067 μ mの厚みを有するAl_{0.5}Ga_{0.5}Nからなるp型中間層36を形成する。ここで、p型中間層36の組成は、p型クラッド層5からp型コンタクト層37に向かってZ=0.08からZ=0へと連続的に変化させている。そして、p型中間層36の上面上に、約3nmの厚みを有するIn_{0.05}Ga_{0.95}Nからなるp型コンタクト層37を形成する。そして、リフトオフ法を用いて、p型コンタクト層37の上面上に、p側オーミック電極40を約2.9 μ mの電極幅でストライプ状に形成する。そして、p側オーミック電極40の上面およびp型コンタクト層37の上面の全面を覆うように、プラズマCVD法を用いて、約60nmの厚みのSiO₂からなるスルー膜43を形成する。

【0112】次に、第4実施形態では、図23に示すように、p側オーミック電極40に対して垂直な方向から、p側オーミック電極40のストライプ方向を軸として、所定量の角度を傾かせた方向から炭素をイオン注入する。具体的には、p側オーミック電極40をマスクと

して、スルー膜43を介して、p側オーミック電極40のストライプ方向と垂直な面内で、p型コンタクト層37に対して垂直な方向(p型コンタクト層37の[0001]方向)から時計回りに約30°傾けた角度から1回目のイオン注入を行う。これにより、p型コンタクト層37の上面から約0.28 μ mの注入深さを有する高抵抗層38cを形成する。なお、第4実施形態の1回目のイオン注入では、イオン注入エネルギーが約95keV、ドーズ量が約2.3 $\times 10^{14}$ cm⁻²のイオン注入条件で、炭素のイオン注入を行う。

【0113】次に、p側オーミック電極40のストライプ方向と垂直な面内で、p型コンタクト層37に対して垂直な方向(p型コンタクト層37の[0001]方向)から反時計回りに約30°傾けた角度から2回目のイオン注入を行う。これにより、図24に示したように、p型コンタクト層37の上面から約0.28 μ mの注入深さを有する高抵抗層38dを形成する。なお、第4実施形態の2回目のイオン注入条件は、1回目のイオン注入の条件と同様である。

【0114】さらに、図25に示すように、p型コンタクト層37に対して垂直な方向からp側オーミック電極40のストライプ方向に約7°傾けた方向からリンのイオン注入を行った。この3回目のイオン注入では、イオン注入エネルギーが約200keV、ドーズ量が約2.5 $\times 10^{15}$ cm⁻²のイオン注入条件で、リンのイオン注入を行う。このようにして、1回目～3回目のイオン注入により形成された領域が重なり合うことにより、図25に示されるような第1不純物注入層38bと第2不純物注入層38aとが形成される。

【0115】この後、スルー膜43を、フッ酸系エッチャントによるウェットエッチングにより除去する。そして、プラズマCVD法を用いて、p型コンタクト層37およびp側オーミック電極40の上面の全面を覆うように、図21に示したような、約200nmの厚みを有するとともに、SiO₂からなる絶縁膜41を形成する。そして、第1実施形態と同様、フォトリソグラフィ技術およびCF₄ガスによるRIE法を用いて、p側オーミック電極40の上面を露出する。

【0116】最後に、第1実施形態と同様のプロセスを用いて、絶縁膜41上に、p側オーミック電極40の露出された上面に接触するように、p側パッド電極42を形成する。また、n型GaN基板1の所定の膜厚に研磨された後の裏面に、n型GaN基板1の裏面に近い側から、n側オーミック電極13およびn側パッド電極14を形成することによって、図21に示した第4実施形態による窒化物系半導体レーザ素子が完成される。

【0117】第4実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスでは、上記したように、イオン注入の角度を変更して複数回イオン注入することにより、電流通過領域39の幅を、容易にマスクであるp側オーミ

ック電極 40 の幅よりも狭くすることができる。これにより、複数のイオン注入マスク層を形成するなどの複雑な工程を行うことなしに、十分な電流狭窄を行うことができる。

【0118】なお、今回開示された実施形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施形態の説明ではなく特許請求の範囲によって示され、さらに特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれる。

【0119】たとえば、上記実施形態では、炭素、シリコン、ホウ素またはリンのいずれかの元素をイオン注入することによりイオン注入光吸収層を形成したが、本発明はこれに限らず、他の元素をイオン注入してもよい。なお、注入する元素は、注入される半導体の導電性と逆の導電性を有しているドーパントを用いるのが好ましい。これにより、低ドーズ量のイオン注入で電流狭窄の機能を有する不純物注入層を形成することができる。また、炭素よりも質量数の多い重い元素を用いることが好ましい。これにより、注入イオンのチャネリングを防止

【0120】また、上記第 3 実施形態では、第 1 の阻止能を有する第 1 イオン透過領域 (10 nm の SiO₂) と、第 1 イオン透過領域よりもイオンが透過しにくい第 2 の阻止能を有する第 2 のイオン透過領域 (10 nm の SiO₂ と 60 nm の Pt) を有するスルー膜を介してイオン注入したが、本発明はこれに限らず、第 1 イオン透過領域を膜厚の薄いスルー膜から構成し、第 2 のイオン透過領域を膜厚の厚いスルー膜から構成してもよい。たとえば、第 1 イオン透過領域を 10 nm の SiO₂ から構成し、第 2 のイオン透過領域を 300 nm の SiO₂ から構成してもよく、また第 1 イオン透過領域にはスルー膜を形成せず、第 2 のイオン透過領域を 60 nm の Pt から構成してもよい。あるいは、第 1 イオン透過領域を密度の低い材料からなるスルー膜から構成し、第 2 のイオン透過領域を密度の高い材料からなるスルー膜から構成してもよい。たとえば、第 1 イオン透過領域を 60 nm の SiO₂ から構成し、第 2 のイオン透過領域を 60 nm の Pt から構成してもよい。

【0121】また、上記第 1、2 および第 4 実施形態では、単層構造の p 型中間層を形成したが、本発明はこれに限らず、p 型中間層を格子定数の異なる複数の層から形成してもよい。これにより、イオン注入時のチャネリングを防止する効果をより大きくすることができる。

【0122】また、上記第 1 実施形態では、In_{0.99}G

a_{0.99}N からなる p 型中間層を形成することにより、p 型中間層を GaN で形成する場合に比べて、p 型中間層と InGa_{0.99}N からなる p 型コンタクト層との格子定数差を小さくすることによって、コンタクト抵抗を低減したが、本発明はこれに限らず、p 型中間層の格子定数が、p 型コンタクト層の格子定数と p 型クラッド層の格子定数との間の格子定数になっていればよい。たとえば、AlGa_{0.99}N からなる格子定数が a₁ の p 型クラッド層と、InGa_{0.99}N からなる格子定数が a₂ の p 型コンタクト層と、InGa_{0.99}N からなる格子定数が a₃ の p 型中間層とを形成する場合、格子定数が a₃ > a₂ となるように p 型中間層の In 組成を調整すればよい。特に、p 型クラッド層と p 型中間層との格子定数差を、 $\Delta a_1 = a_1 - a_3$ 、p 型コンタクト層と p 型中間層との格子定数差を、 $\Delta a_2 = a_3 - a_2$ とした場合、 $\Delta a_1 \approx \Delta a_2$ となるように p 型中間層の In 組成を調整すれば、p 型中間層および p 型コンタクト層の歪みを低減でき、その結果、コンタクト抵抗を低減することができるので好ましい。

【0123】また、上記第 2 実施形態では、Al_{0.99}GaN からなる p 型中間層により、p 型中間層と p 型クラッド層とのバンドギャップ差を小さくすることによって、p 型コンタクト層から p 型クラッド層へ流れる電流 (正孔) に対する抵抗を低減したが、本発明はこれに限らず、p 型中間層のバンドギャップが、p 型コンタクト層のバンドギャップと p 型クラッド層のバンドギャップとの間のバンドギャップになっていればよい。たとえば、AlGa_{0.99}N からなるバンドギャップが EG₁ の p 型クラッド層と、InGa_{0.99}N からなるバンドギャップが EG₂ の p 型コンタクト層と、AlGa_{0.99}N からなるバンドギャップが EG₃ の p 型中間層とを形成する場合、バンドギャップが、EG₁ > EG₃ となるように p 型中間層の Al 組成を調整すればよい。特に、p 型クラッド層と p 型中間層とのバンドギャップ差を、 $\Delta EG_1 = EG_1 - EG_3$ 、p 型コンタクト層と p 型中間層とのバンドギャップ差を、 $\Delta EG_2 = EG_3 - EG_2$ とした場合、 $\Delta EG_1 \approx \Delta EG_2$ となるように p 型中間層の Al 組成を調整すれば、p 型中間層から p 型クラッド層へ流れる電流に対する抵抗、および、p 型コンタクト層から p 型中間層へ流れる電流に対する抵抗を低減することができるので好ましい。

【0124】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、不純物元素が深く注入されるのを抑制することにより製造歩留まりを向上することが可能な窒化物系半導体レーザ素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造を示した断面図である。

【図 2】図 1 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導

体レーザ素子のMQW発光層を示した拡大断面図である。

【図3】イオン注入領域の概略を示す拡大断面図である。

【図4】図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図5】図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図6】図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図7】図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図8】図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子における炭素濃度および結晶欠陥濃度プロファイルのシミュレーション結果を示したグラフである。

【図9】図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子における炭素濃度プロファイルのSIMSによる測定結果を示したグラフである。

【図10】本発明の第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造を示した断面図である。

【図11】図10に示した第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図12】図10に示した第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図13】図10に示した第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図14】図10に示した第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図15】本発明の第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造を示した断面図である。

【図16】図15に示した第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図17】図15に示した第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図18】図15に示した第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

10 【図19】図15に示した第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図20】図15に示した第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図21】本発明の第4実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造を示した断面図である。

20 【図22】図21に示した第4実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図23】図21に示した第4実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図24】図21に示した第4実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図25】図21に示した第4実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

30 【図26】従来の窒化物系半導体レーザ素子の構造を示した断面図である。

【符号の説明】

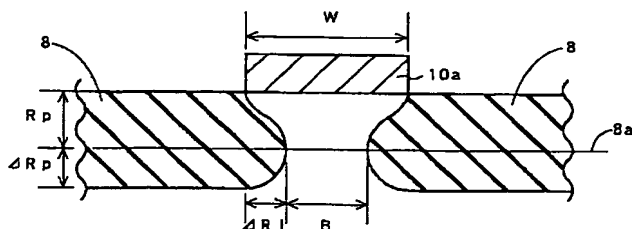
4、MQW発光層（発光層）

5 p型クラッド層（第1導電型のクラッド層）

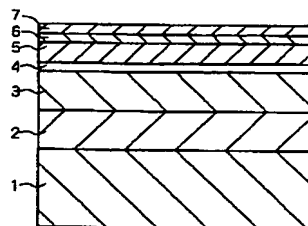
7、17、26、37 p型コンタクト層（第2導電型のコンタクト層）

8、18a、18b、27、38a、38b 不純物注入層（不純物導入層）

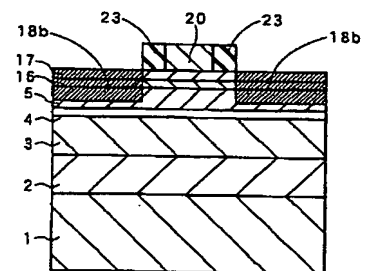
【図3】



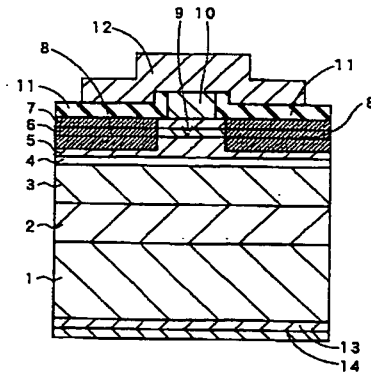
【図4】



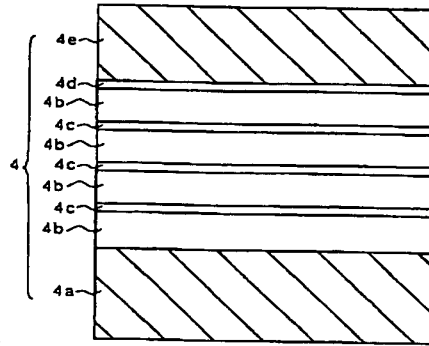
【図12】



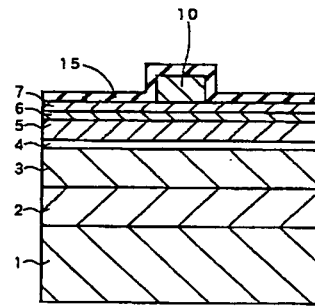
【図 1】



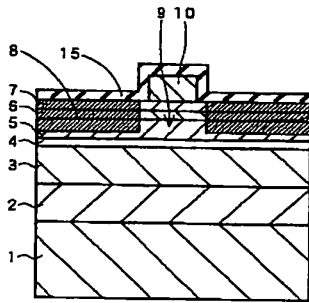
【図 2】



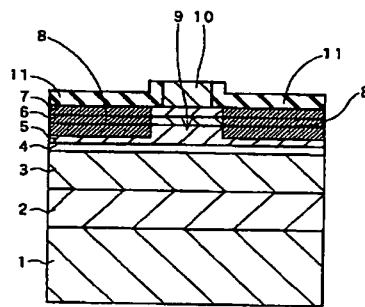
【図 5】



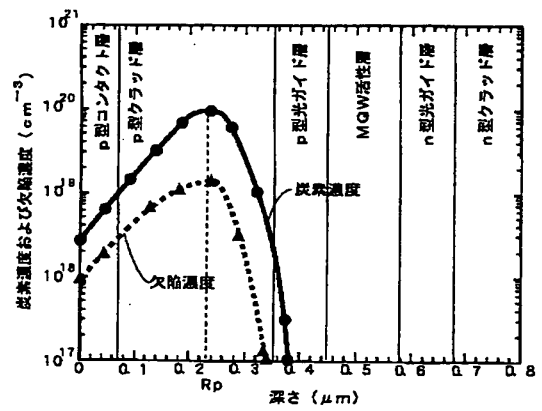
【図 6】



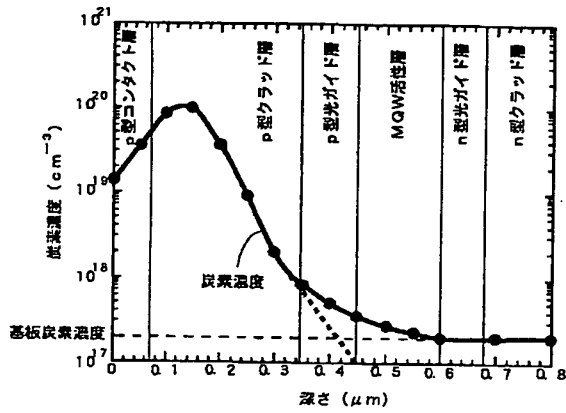
【図 7】



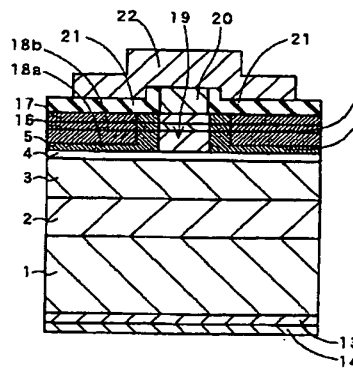
【図 8】



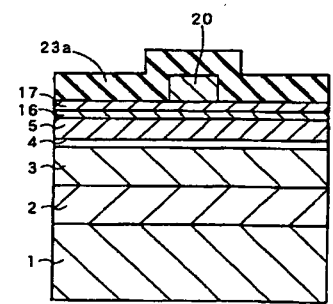
【図 9】



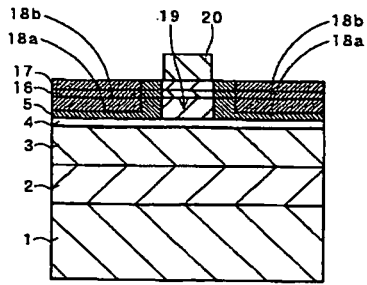
【図 10】



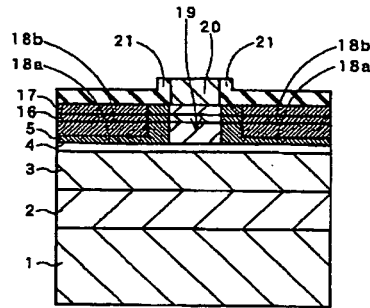
【図 11】



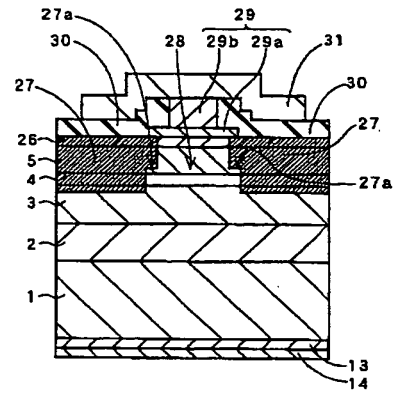
【図 13】



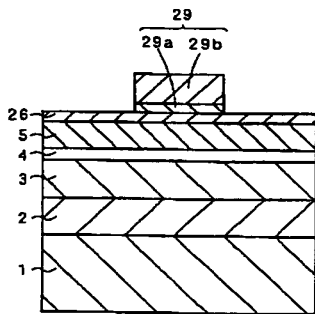
【図 14】



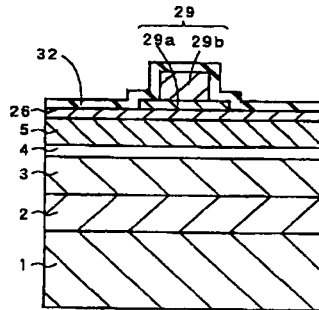
【図 15】



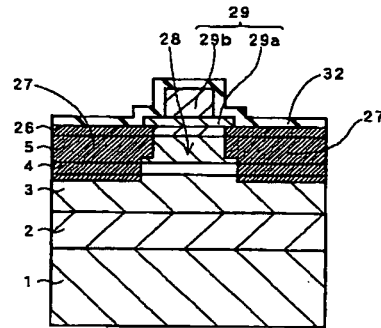
【図 16】



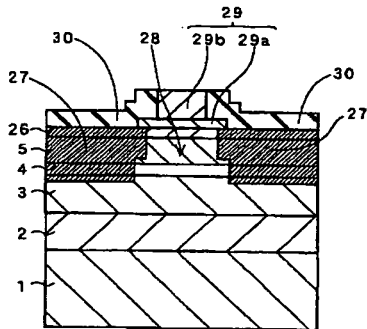
【図 17】



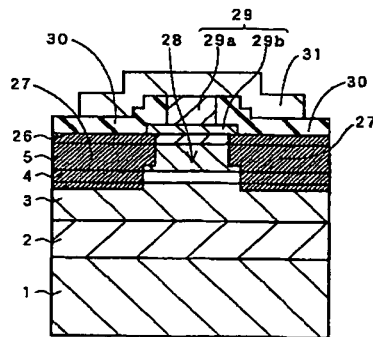
【図 18】



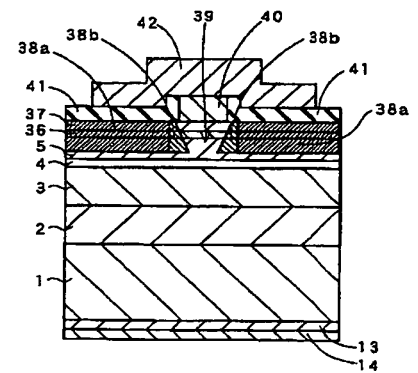
【図 19】



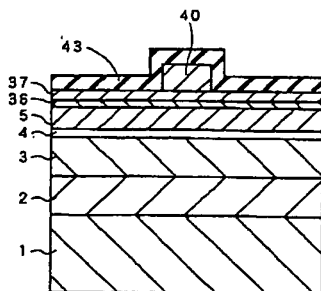
【図 20】



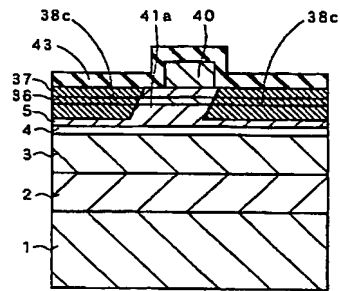
【図 21】



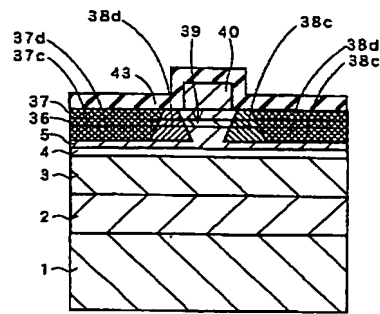
【図 22】



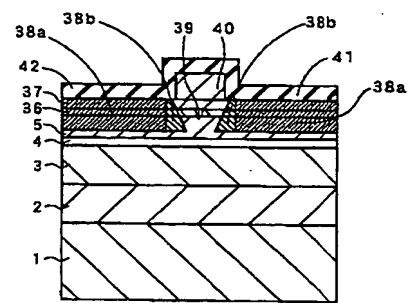
【図 23】



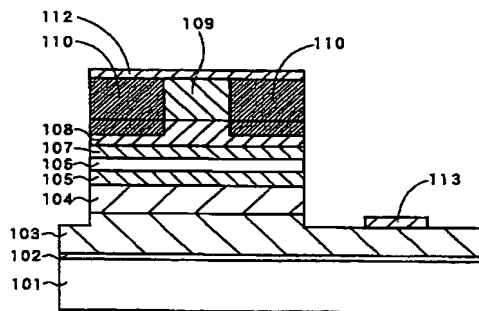
【図 24】



【図 25】



【図 26】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.